

補助事業番号 2021M-142
補助事業名 2021年度 ネッキング型破壊の抑制とコーキング効果の応用による微小金属材料の耐疲労特性向上方法の開発 補助事業
補助事業者名 岡山大学大学院自然科学研究科産業創成工学専攻 応用固体力学研究室
助教 坂本惇司

1 研究の概要

本研究では、電子機器や医療機器等で用いられる直径が0.2mm以下の金属細線の長期信頼性を向上させるために、ネッキング型破壊の抑制による高寿命化とコーキング効果の人工的な付与による高強度化を目指す。そのために、疲労試験中の金属細線の変形過程を観察するためのレーザ変位計を用いたシステムを構築した。そのシステムを用いて実験を行い、ネッキング型破壊のメカニズムについて検討した。また、集束イオンビーム(Focused ion beam: FIB)加工を用いて金属細線に模擬き裂を導入し、コーキング効果の発現条件について検討した。

2 研究の目的と背景

携帯電話等の電子機器や、骨折固定用ワイヤー等の医療機器では、小型化や高信頼性が求められる。そのためには、それらを構成する微小サイズの金属材料に、長期信頼性を確保する(高い耐疲労特性を有する)ことが必要である。しかし、微小サイズの金属材料の耐疲労特性は、通常サイズの耐疲労特性に比べて異なる場合が多く、低下する場合もある。したがって、微小金属材料が用いられる機器を更なる高性能かつ安全に使用するためには、微小金属材料の耐疲労特性を高めることが重要である。

そこで本研究では、直径が0.2mm以下のチタン合金細線の耐疲労特性を向上させるために、ネッキング型破壊の抑制による高寿命化とコーキング効果の人工的な付与による高強度化を目的とし、研究を実施した。

3 研究内容 <http://solid.mech.okayama-u.ac.jp/contribution.html>

(1)ネッキング型破壊の抑制による高寿命化に関する検討

ネッキング型破壊がいつ、どこで、どのように起こっているかを明らかにするために、疲労試験機にレーザ変位計を組み合わせたその場観察システムを構築し、疲労試験中のチタン合金細線の伸びと直径をモニタリングした。図1および図2に、試験片の写真および疲労試験結果をそれぞれ示す。図1に示す試験片は、直径が約0.18mmのチタン合金(Ti-6Al-4V)である。図2より、高応力振幅域においてはネッキング型破壊が起こりやすく、低応力振幅域においてはクラッキング型破壊が起こりやすいことが分かる。本研究では、ネッキング型破壊とクラッキング型破壊の両方が見られる応力振幅域(350~450MPa)を主な対象範囲として、疲労試験中の試験片の伸びと直径をモ

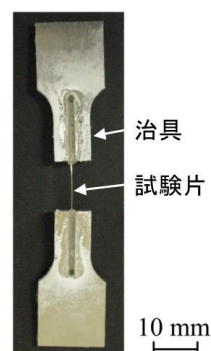


図1 試験片

ニタリングした。その一例を図3に示す。疲労試験中の伸びと直径の変化傾向から、ネッキングの箇所とタイミングを特定できることが分かった。また、ネッキング箇所と非ネッキング箇所の微視組織を比較することで、ネッキングが起こりやすい箇所の微視組織的特徴を明らかにすることを検討している。その結果を基に、微視組織の改善指針を明確にし、細線の高寿命化を目指している。

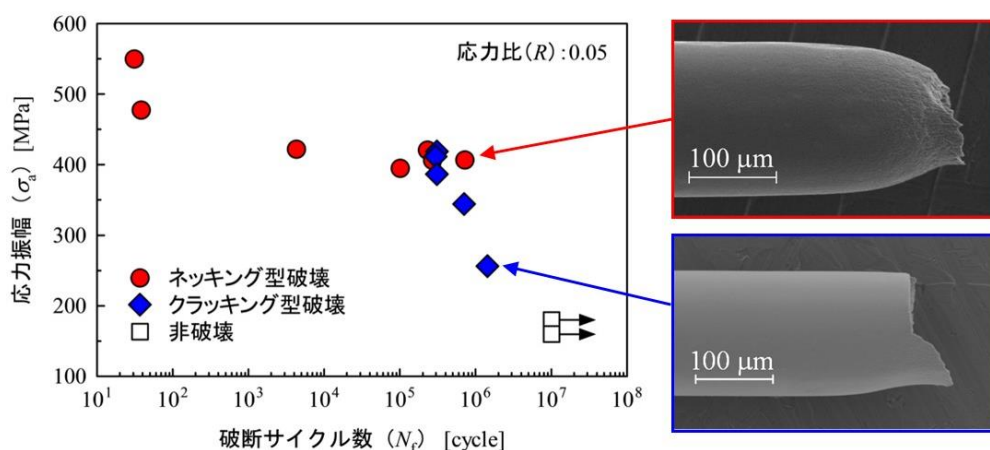


図2 疲労試験結果

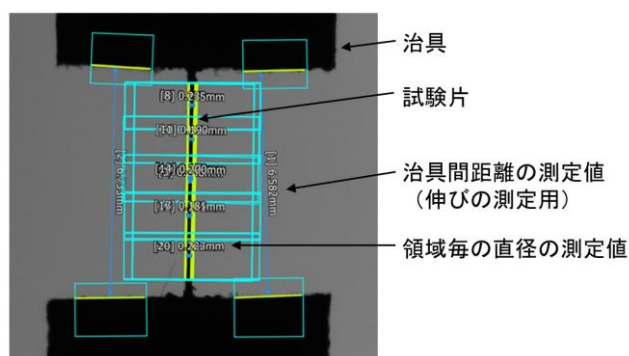


図3 レーザ変位計による疲労試験中の試験片の伸びと直径の測定例

(2) コーキング効果の人工的な付与による高強度化に関する検討

コーキング効果とは、疲労限度よりも小さい負荷を材料に繰返し与えることで、疲労強度が向上する現象である。コーキング効果の発現メカニズムについては明らかにされていないが、有力な可能性としては、繰返し負荷により発生した微小なき裂が停留し、そのき裂先端近傍の材料がひずみ時効硬化により強化される可能性がある。そのため、微小なき裂の挙動を分析することが重要である。そこで、本研究では、FIB加工によって導入した模擬き裂の挙動をプラスチックレプリカ法により分析することを試みた。図4に、一例としてFIB加工で模擬き

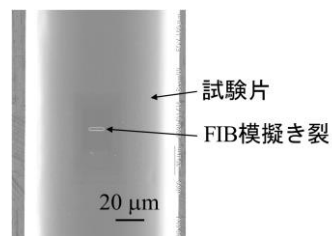


図4 FIB模擬き裂

裂を導入した試験片の電子顕微鏡画像を示す。現在、この分析手法を用いて、き裂の先端近傍の材料特性を分析している。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究では、電子機器や医療機器等に用いられる微小金属材料の耐疲労特性の向上を目指した。まだ課題が残っているが、今後の研究においてそれらの課題を解決し、耐疲労特性向上の方法を構築すれば、電子機器や医療機器等の長期信頼性の向上を通じて、産業分野への貢献が期待できる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究者は、数mm程度の直径や厚さの金属材料の疲労強度特性に関する研究を行ってきた。今回の研究では、その対象を0.2mm以下の直径の微小金属材料(チタン合金)に拡大し、その疲労強度特性を分析した。本研究テーマを進めていく上で、微小金属材料特有の課題に加えて、これまで行ってきた通常サイズのものにも通じる課題も多く発見できた。今後は、発見できた課題についてさらに研究を推進する予定である。それらの課題を解決し、微小金属材料の耐疲労特性向上方法を構築していきたいと考えている。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- (1) 築原京香、坂本惇司、多田直哉、上森武、大石滉葉、疲労負荷時のTi-6Al-4V合金細線の直径と公称ひずみの変化、日本機械学会中国四国支部第60期講演会講演論文集、2022年3月

7 補助事業に係る成果物

- (1)補助事業により作成したもの
該当なし
- (2)(1)以外で当事業において作成したもの
該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 岡山大学工学部(オカヤマダイガクコウガクブ)

住 所： 〒700-8530

岡山県岡山市北区津島中3-1-1

担 当 者： 助教 坂本惇司(サカモトジュンジ)

担 当 部 署： 応用固体力学研究室(オウヨウコタイリキガクケンキュウシツ)

E - m a i l: sakamoto-junji@okayama-u.ac.jp

U R L: <http://solid.mech.okayama-u.ac.jp/>